

Veröffentlichungsnummer

CA1333038

Veröffentlichungsdatum:

1994-11-15

Erfinder

ISHIDA YUHI (JP); MUSHIAGE MASATO (JP); TANAKA HARUO (JP)

Anmelder:

ROHM CO LTD (JP)

Klassifikation:

- Internationale:

C30B23/02; C30B23/02; C30B29/40; C23C14/56;  
H01L21/20

- Europäische:

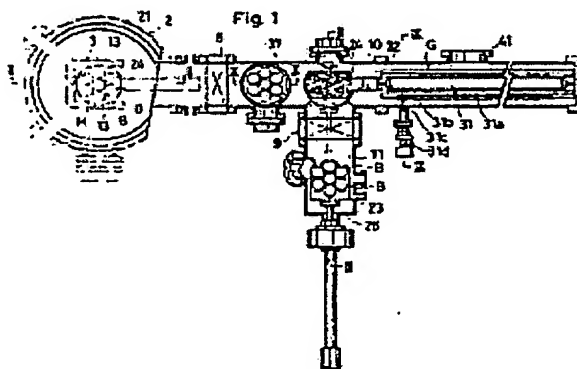
Aktenzeichen:

CA19890594977 19890329

Prioritätsaktenzeichen:

JP19880042830U 19880330; JP19880077798 19880330;  
JP19880087918 19880408

A molecular beam epitaxy apparatus comprises a growth chamber (2) provided therein with a holder support frame (3) and connected via a first gate valve (8) to a preparation chamber (10) which in turn is connected to a loading chamber (11) via a second gate valve (9). A first transfer tray (23) arranged in the loading chamber receives a set of substrates (B) from outside and advances into the preparation chamber. A second transfer tray (24) supports a substrate holder (H) in the preparation chamber to allow the set of substrates to be transferred from the first tray onto the holder by the aid of a substrate transfer assembly (28). The second tray is advanced into the growth chamber to transfer the loaded holder onto the holder support frame.





①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Übersetzung der  
europäischen Patentschrift

②⑦ EP 0 335 267 B1

⑩ DE 689 16 457 T 2

⑤① Int. Cl.<sup>8</sup>:  
**C 23 C 14/56**  
C 23 C 14/24  
C 30 B 23/02  
H 01 L 21/00

②① Deutsches Aktenzeichen:	689 16 457.2
②⑥ Europäisches Aktenzeichen:	89 105 248.2
②⑥ Europäischer Anmeldetag:	23. 3. 89
②⑦ Erstveröffentlichung durch das EPA:	4. 10. 89
②⑦ Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	29. 6. 94
④⑦ Veröffentlichungstag im Patentblatt:	9. 2. 95

③⑩ Unionspriorität: ③② ③③ ③①

30.03.88 JP 77798/88 30.03.88 JP 42830/88  
08.04.88 JP 87918/88

⑦③ Patentinhaber:

Rohm Co. Ltd., Kyoto, JP

⑦④ Vertreter:

Reinhard, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Skuhra, U.,  
Dipl.-Ing.; Weise, R., Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 80801  
München

②④ Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, NL

⑦② Erfinder:

Tanaka, Haruo, Ukyo-ku Kyoto, JP; Mushiage,  
Masato, Ukyo-ku Kyoto, JP; Ishida, Yuhji, Ukyo-ku  
Kyoto, JP

⑤④ Einrichtung zur Molekularstrahlepitaxie.

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 689 16 457 T 2

DE 689 16 457 T 2

Deutsches Aktenzeichen : 689 16 457.2-08

Europäische Patentanmeldung Nr.: 89 105 248.2-2112

Anmelder: ROHM CO., LTD.

Die Erfindung betrifft ein Molekularstrahlepitaxiegerät gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1, das aus der EP-A-0 145 285 zur Übertragung eines einzelnen Substrats bekannt ist.

Die Molekularstrahlepitaxie (häufig abgekürzt als "MSE" bzw. im Englischen "MBE") hat Aufmerksamkeit auf sich gezogen als ein Verfahren, um epitaxial eine dünne Schicht auf einem Monokristallsubstrat bei der Herstellung von Halbleiterverbindungen, insbesondere von Gruppe III-V-Halbleiterverbindungen, wachsen zu lassen. Bei der MSE, die ein Verfahren zur Beschichtung im Vakuum darstellt, werden Elemente der Gruppe III wie Ga, Al, In und Elemente der Gruppe V wie As, P in Form von Molekular- oder Atomstrahlen ( $\text{As}_2$  oder  $\text{As}_4$  im Fall von Arsen) unter einem ultrahohen Vakuum von z.B. etwa  $1,3 \times 10^{-8}$  Pa ( $10^{-11}$  Torr) emittiert und auf einem Monokristallsubstrat aus z.B. GaAs, InP zur Bildung einer epitaxialen Schicht oder epitaxialer Schichten aus z.B. GaAs, AlGaAs, InP, InGaAsP abgelagert.

Es sind verschiedene Vorteile der MSE bekannt. Einige dieser Vorteile sind:

- (1) Aufgrund der Verwendung eines ultrahohen Vakuums ist es möglich, die Wachstumsfront jedes Substrats durch Entfernung gasförmiger Verunreinigungen immer sauber zu halten, wodurch die Qualität des Produkts verbessert wird.
- (2) Aufgrund des hohen Vakuums ist es möglich, eine gleichmäßige Schicht oder einen gleichmäßigen Film über eine große Fläche abzulagern.

- (3) Es ist möglich, die Filmdicke in Ångstrom genau zu kontrollieren, da die Kristallwachstumsgeschwindigkeit sehr niedrig und genau einstellbar gemacht werden kann.
- (4) Es ist möglich, leicht einen mehrere Bestandteile enthaltenden dünnen Film aus Mischkristallen durch einfache Vermehrung der Molekularstrahlquellen zu erhalten.
- (5) Zur Kristallbildung verwendete Molekularstrahlen können ebenfalls benutzt werden, um Oberflächen- oder Wachstumsbedingungen während des Kristallwachstums nachzuweisen, so daß nutzbringende Informationen sofort zur Regulation des Kristallwachstums rückgekoppelt werden können.

Zum weiteren Verständnis der MSE-Technik wird auf die beiliegenden Figuren 14 und 15 hingewiesen, die ein typisches MSE-Gerät zeigen, wie es aus dem Stand der Technik bekannt ist.

Wie die Fig. 14 zeigt, weist das aus dem Stand der Technik bekannte MSE-Gerät eine Wachstumskammer 102 auf, die mit einer Hochvakuumpumpe 101 zum Evakuieren des Kammerinneren auf ein ultrahohes Vakuum verbunden ist. Zentral in der Kammer 102 ist eine Halterlagerung 103 angeordnet, die regulierbar über eine zentrale vertikale Achse L gedreht wird. Die Lagerung 103 nimmt einen Substrathalter H' auf, der mit einer Vielzahl von Substraten B' geladen ist (vgl. Fig. 15). Die Drehung der Halterlagerung ist erforderlich, um eine gleichmäßige Kristallablagerung auf jedem Substrat B' sicherzustellen. Die Lagerung 103 ist mit einem Heizgerät (hier nicht gezeigt) ausgestattet, um das Substrat auf eine für Kristallwachstum geeignete Temperatur zu erhitzen.

Die Wachstumskammer 102 ist an ihrem unteren Ende mit einer Vielzahl (hier sind nur zwei gezeigt) von Molekularstrahlquellen oder Verdampfern 105 ausgestattet, die ringförmig um die

zentrale vertikale Achse L der Wachstumskammer zur Erzeugung von Molekularstrahlen aus unterschiedlichen Materialien angeordnet sind. Jede Quelle 105 ist im wesentlichen gleichmäßig vom Substrathalter H' beabstandet, und sie weist eine Längsachse A auf, die zum Zentrum des Halters ausgerichtet ist. Die Quelle 105 enthält einen Schmelztiegel 104 zur Aufnahme eines geeigneten Materials, das durch ein (hier nicht gezeigtes) Heizgerät zur Verdampfung erhitzt wird. Die Quelle 105 enthält weiterhin eine Ummantelung oder eine Kältefalle 106, der flüssiger Stickstoff zugeführt wird, um zu verhindern, daß die Quelle durch die anderen Quellen thermisch beeinflusst wird. Die Molekularstrahlemission wird durch Öffnen und Verschließen eines Verschlusses 107 reguliert, der an der Emissionsöffnung des Verdampfers 105 angeordnet ist.

Um beispielsweise eine GaAs-Schicht auf GaAs-Monokristallsubstraten mit dem oben beschriebenen Gerät abzulagern, werden zwei der Verdampfer 105 für Ga bzw. As erhitzt, während der Substrathalter H' mit den Substraten B' ebenfalls auf eine geeignete Temperatur erhitzt wird, und anschließend werden die relevanten Schließer 107 für einen vorherbestimmten Zeitraum geöffnet. Ein zusätzliches Element Al kann gleichzeitig verdampft werden, um eine  $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ -Schicht zu bilden, in der der Wert von x durch das Verhältnis an verdampfter Menge zwischen Ga und Al bestimmt wird. Weiterhin ergibt die gleichzeitige Verdampfung von Si oder Sn eine Kristallschicht vom n-Typ, während die gleichzeitige Aufnahme von Be oder Mg eine Kristallschicht vom p-Typ ergibt.

Wie die Fig. 15 zeigt, weist das MSE-Gerät weiterhin eine Präparationskammer 110 auf, die mit der Wachstumskammer 102 über ein erstes Schieberventil 108 verbunden ist. Die Präparationskammer 110 ist mit einem zweiten Schieberventil 109 ausgestattet, um die Präparationskammer von der Atmosphäre hermetisch abzutrennen.

Um einen neuen Satz an Substraten zuzuführen, wird das erste Schieberventil 108 geschlossen gehalten, während das zweite Schieberventil 109 geöffnet wird, und der Satz an Substraten B', der durch den Substrathalter H' gehalten wird, wird von außen in die Präparationskammer 110 durch das offene zweite Schieberventil 109 eingeführt. Anschließend wird das zweite Schieberventil geschlossen, und die Präparationskammer wird auf ein Hochvakuum evakuiert, worauf das erste Schieberventil 108 geöffnet wird, um den Substratsatz in die Wachstumskammer einzuführen. Auf diese Weise wird die zur Reevakuierung der Wachstumskammer 102 auf ein ultrahohes Vakuum erforderliche Zeit stark verringert, wodurch die Produktivität des Apparats zunimmt.

Wenn die Präparationskammer fehlt, macht es der Vakuumverlust bei Zufuhr eines neuen Satzes an Substraten offensichtlicherweise notwendig, die Wachstumskammer von Beginn an zu reevakuieren, wodurch ein großer Zeitverlust eintritt. Aus diesem Grund wurde die MSE früher nur als experimentelles Werkzeug oder nur zu Forschungszwecken als geeignet eingeschätzt.

Die in Fig. 15 gezeigte Anordnung öffnet den Weg zur Anwendung der MSE im kommerziellen Maßstab oder gibt zumindest einen Hinweis hierauf. Eine derartige Anordnung weist jedoch noch den folgenden Nachteil auf.

Entsprechend der Anordnung der Fig. 15 muß nicht nur der Satz an Substraten B', sondern auch der Halter H' dafür von außen zugeführt werden. Wenn er in die Wachstumskammer 102 eingebracht wird, ermöglicht der Halter, der gewöhnlicherweise zur Gewährleistung einer hohen Festigkeit, einer hohen Stabilität bei hoher Temperatur und einer Korrosionsbeständigkeit aus Molybdän oder einer Molybdänlegierung hergestellt ist, den gleichzeitigen Eintritt von anhaftender Feuchtigkeit, Luft oder

anderen Verunreinigungen in die Wachstumskammer. Da die Anforderungen an den Zustand im Inneren der Wachstumskammer während des Kristallwachstums sehr streng sind, ist es schwierig oder zeitaufwendig, die anhaftenden Verunreinigungen durch Evakuierung in annehmbarer Weise zu entfernen.

Es ist deshalb eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein MSE-Gerät bereitzustellen, das in der Lage ist, die zur Entgasung der Substrathalter vor Beginn des Kristallwachstums notwendige Zeit maximal zu verringern, um hierdurch die Produktivität des Geräts zu erhöhen.

Es ist eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein MSE-Gerät bereitzustellen, das mit einer maximal verkürzten Zykluszeit kontinuierlich betreibbar ist.

Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein MSE-Gerät bereitzustellen, das über einen längeren Zeitraum pro einzelner Zugabe an Kristallmaterialien betreibbar ist.

Es ist noch eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein MSE-Gerät bereitzustellen, das in der Lage ist, so viele Molekularstrahlquellen wie möglich aufzunehmen, wodurch ein epitaxiales Wachstum von Kristallschichten verschiedener Zusammensetzungen ermöglicht wird.

Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein MSE-Gerät bereitzustellen, das die Wahrscheinlichkeit von Fehlfunktionen verringert.

Es ist eine weitere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein MSE-Gerät bereitzustellen, das eine leichte Wartung ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird ein Molekularstrahlepitaxiegerät gemäß Anspruch 1 bereitgestellt, das weiterhin durch die Merkmale der abhängigen Patentansprüche 2-10 ausgestaltet ist.

Die Erfindung wird nunmehr beispielhaft unter Bezugnahme auf die beiliegenden Zeichnungen vollständig beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Aufsicht der gesamten Anordnung eines MSE-Geräts der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 einen Querschnitt entlang der Linien II-II in Fig. 1;

Fig. 3 einen Querschnitt der Substrattransferanordnung entlang der Linien III-III in Fig. 1;

Fig. 4 eine Aufsicht eines im MSE-Gerät der Fig. 1 verwendeten Substrathalters;

Fig. 5 einen Querschnitt entlang der Linien V-V in Fig. 4;

Fig. 6 eine Aufsicht einer ersten in das MSE-Gerät der Fig. 1 eingebauten ersten Transferschale;

Fig. 7 eine Aufsicht einer in das MSE-Gerät der Fig. 1 eingebauten zweiten Transferschale;

Fig. 8 einen Querschnitt entlang der Linien VIII-VIII in Fig. 7;

Fig. 9 einen Querschnitt entlang der Linien IX-IX in Fig. 1;

Fig. 10 einen Querschnitt entlang der Linien X-X in Fig. 1;



Fig. 11 eine Perspektivansicht eines Ständers der in Fig. 3 gezeigten Substrattransferanordnungen;

Fig. 12 eine schematische Perspektivansicht des Substratflusses zusammen mit dem entsprechenden Halter in dem MSE-Gerät der Fig. 1;

Fig. 13a bis 13c Ansichten einer bevorzugten Verschlußanordnung aus drei unterschiedlichen Richtungen;

Fig. 14 eine schematische Vertikalschnittansicht einer Wachstumskammer eines MSE-Geräts nach dem Stand der Technik; und

Fig. 15 eine Aufsicht des MSE-Geräts nach dem Stand der Technik mit einer Anordnung zur Zufuhr von Substraten.

Bezugnehmend auf Fig. 1 der beiliegenden Zeichnungen enthält ein Molekularstrahlepitaxiegerät gemäß der Erfindung hauptsächlich eine Wachstumskammer 2, eine Substratpräparationskammer 10, die durch ein erstes Schiebeventil 8 mit der Wachstumskammer verbunden ist, und eine Substratladekammer 11, die durch ein zweites Schiebeventil 9 mit der Präparationskammer verbunden ist. Ein Kristallwachstum tritt in der Wachstumskammer 2 gleichzeitig in bezug auf eine Vielzahl von Substraten oder Wafer-B auf, die durch einen Substrathalter H gehalten werden. Die Wachstumskammer wird auf ein ultrahohes Vakuum (beispielsweise  $1,3 \times 10^{-8}$  Pa) durch eine damit verbundene Hochleistungs-Vakuumpumpe (hier nicht gezeigt) evakuiert. Es wird darauf hingewiesen, daß das erfindungsgemäße Epitaxiegerät tatsächlich eine Vielzahl von Substrathaltern H verwendet, wobei jeder einen Satz von Substraten B aufnimmt, obwohl nur einer dieser Halter in der Wachstumskammer 2 für einen Arbeitszyklus angeordnet ist.

Gemäß diesem Beispiel enthält die Wachstumskammer 2 einen aufrecht angeordneten Behälter, der einen zylindrischen oberen Teil 2a und einen konischen oder kegelstumpfkönischen unteren Teil 2b aufweist, wie dies im Vertikalschnitt in der Fig. 2 gezeigt ist. Die Wachstumskammer weist weiterhin eine Decke 12 auf, die zentral von einem durch ein Betätigungselement bzw. Aktuator 18 auf- und abwärts bewegbaren, an der Decke 12 auf der Außenseite der Wachstumskammer angebrachten Lagerschaft 19 durchdrungen wird.

In der Wachstumskammer 2 ist ein Lagerrahmen 3 angeordnet, der auf dem Lagerschaft bzw. der Lagerwelle 19 befestigt ist. Der Lagerrahmen weist an seinem unteren Ende ein Paar horizontal angeordneter Lagerarme 13 auf, die parallel zueinander diametral zur Wachstumskammer beabstandet sind (vgl. auch Fig. 1). Der Substrathalter H ist auf den Lagerarmen 13 angeordnet. Der Lagerrahmen weist weiterhin ein oberes Vorsprungsteil 14 auf, das um den Lagerschaft 19 durch Stützen 14a drehbar eingepaßt ist. Das Vorsprungsteil 14 trägt ein Getriebe 15, das in ein Antriebsritzel 17 eingreift, welches durch einen an der Decke 12 angebrachten Außenmotor 16 gedreht wird. Demnach wird der Lagerrahmen 3 zusammen mit dem Substrathalter H um den Lagerschaft 19 bei Starten des Motors 16 gedreht, um auf jedem Substrat P ein gleichmäßiges Kristallwachstum sicherzustellen. Auf der anderen Seite ist der Lagerrahmen 3 mit dem Lagerschaft 19 bei Betätigung des Betätigungselements 18 vertikal beweglich. Eine derartige vertikale Bewegung des Lagerrahmens 3 ist notwendig, um den Transfer des Substrathalters P zu und vom Lagerrahmen 3 zu ermöglichen, was nachfolgend näher beschrieben wird.

Der Lagerschaft 19 ist an seinem unteren Ende mit einer Halterabdeckung 19a versehen, in die ein Heizelement 20 zum Erhitzen der Substrate B von oben auf eine gewünschte Temperatur eingebaut ist. Andererseits ist eine ringförmige Abkühlabdeckung 21,

die mit flüssigem Stickstoff versorgt wird, in der Wachstumskammer 2 entlang ihrem zylindrischen Anteil 2a angeordnet. Die Abkühlabdeckung 21 dient dazu, eine gekühlte Innenfläche bereitzustellen, auf der sich die verdampften Verunreinigungen ablagern.

Der kegelstumpfförmige untere Abschnitt 2b der Wachstumskammer 2 ist mit einer Vielzahl von Materialverdampfern oder Molekularstrahlquellen 5a, 5b, 5c ausgestattet, deren jeweilige Achsen a, b, c zum Zentrum des Substrathalters H ausgerichtet sind. Gemäß dem gezeigten Beispiel ist der Verdampfer 5a für ein Element der Gruppe V (beispielsweise Arsen As) direkt unter dem Substrathalter A angeordnet, während die verbleibenden oder Seitenverdampfer b, c in einer ringförmigen Anordnung um den zentralen Verdampfer 5a angeordnet sind. In der Figur 2 sind nur zwei Verdampfer 5b, 5c neben dem zentralen Verdampfer 5a gezeigt, um die Zeichnung nicht zu verkomplizieren. In Wirklichkeit jedoch kann eine beliebige Anzahl (beispielsweise fünf bis sieben) derartiger Verdampfer um den zentralen Verdampfer 5a in Abhängigkeit von der gewünschten Zusammensetzung des auf jedem Wafer B zu bildenden Kristalls angeordnet sein. Um die nachfolgende Beschreibung zu erleichtern, sind alle Verdampfer 5a, 5b, 5c (usw.) mit dem gleichen Bezugszeichen 5 versehen, falls keine weitere Unterscheidung notwendig ist.

Jeder Verdampfer 5 enthält einen Tiegel 4 für ein geeignetes Kristallmaterial. Der Tiegel ist mit einem Heizelement (hier nicht gezeigt) zum Erhitzen des Kristallmaterials auf eine bestimmte Temperatur ausgestattet. Der Tiegel ist von einer zylindrischen Abkühlabdeckung umgeben, der flüssiger Stickstoff zugeführt wird, um den Verdampfer von den anderen Verdampfern thermisch unabhängig zu machen und eine Verunreinigung durch Dampfverunreinigungen zu verhindern.

Das Kristallmaterial in jedem Tiegel 4 wird, wenn es auf die bestimmte Temperatur unter einem ultrahohen Vakuum erhitzt wird, in Form von Molekular- oder Atomstrahlen emittiert, um auf jedem Substrat B zum Kristallwachstum abgelagert zu werden. Eine derartige Kristallbildung wird durch Betätigen einer Riegelanordnung bzw. Schließenanordnung 7, die an jeder Seite des Verdampfers 5b, 5c angeordnet ist, initiiert und unterbrochen.

Die Schließenanordnung 7 enthält einen Drehschaft bzw. eine Drehwelle 7a, der bzw. die in die Wachstumskammer 2 reicht, und eine Verschlußplatte 7b, die auf dem vorstehenden Ende des Drehschaftes angebracht ist. Eine spezifischere Ausgestaltung der Verschließenanordnung wird nachfolgend beschrieben. Zu diesem Zeitpunkt ist es ausreichend, zu erwähnen, daß die Verschlußplatte 7b verschiebbar ist, um die Auslaßöffnung des entsprechenden Verdampfers bei Drehung des Drehschaftes 7a zu schließen und zu öffnen.

Der zentrale Verdampfer 5a ist nicht mit einer Verschließenanordnung versehen. Das Fehlen der Verschließenanordnung beim zentralen Verdampfer verursacht jedoch kein Problem bei der Regulation des Kristallwachstums, und eine derartige Anordnung wird aus den später beschriebenen Gründen tatsächlich bevorzugt.

Wie die Figuren 4 und 5 zeigen, liegt jeder Substrathalter H, der aus Molybdän oder einer Molybdänlegierung hergestellt ist, in Form einer Scheibe mit einer Vielzahl (in der Fig. 4 sieben) von abgestuften kreisförmigen Halteöffnungen vor. Jedes Substrat B ist, von oben, in eine entsprechende Öffnung der Halteöffnung 22 eingepaßt. Jede Halteöffnung 22 ist mit einer Vielzahl (in Fig. 4 drei) gleichwinklig beabstandeter radialer Ausschnitte 22a ausgebildet, deren Zweck später beschrieben wird.

Ein Satz (in der vorliegenden Ausführungsform sieben) von Substraten B wird auf eine erste Transferschale 23 in der Ladekammer 11 (vgl. Fig. 1) angeordnet und wird dann zu einem entsprechenden Substrathalter H, der auf einer zweiten Transferschale 24 in der Präparationskammer 10 aufliegt, übertragen. Der vom Substrathalter H gehaltene Satz an Substraten B wird in die Wachstumskammer 2 durch die Transportbewegung der zweiten Transferschale 24 übertragen.

Die Präparationskammer 10, in welcher die zweite Transferschale 24 bewegbar ist, ist zylindrisch und erstreckt sich horizontal von der Wachstumskammer 2 im wesentlichen auf der Ebene der Lagerarme 13 des Lagerrahmens 3 (vgl. Fig. 2). Die Ladekammer 11, in die die erste Transferschale 23 bewegbar ist, ist ebenfalls zylindrisch und erstreckt sich horizontal von einem Zwischenabschnitt der Präparationskammer 10 senkrecht zu dieser (vgl. ebenfalls Fig. 3).

Wie die Fig. 6 zeigt, ist die erste Transferschale 23 mit einer Vielzahl (in dieser Ausführungsform sieben) abgestufter kreisförmiger Halteöffnungen 26 in entsprechender Beziehung zu denen eines jeden Substrathalters H ausgebildet. Diese Halteöffnungen 26 sind miteinander in Axialrichtung der Ladekammer 11 durch gerade Durchführungen 27 einer vorbestimmten Öffnungsbreite hin zur Präparationskammer 10 verbunden. Der Zweck dieser Durchführungen 27 wird später erklärt. Jede Halteöffnung 26 ist mit einer Vielzahl (drei in Fig. 6) gleichwinklig beabstandeter Ausschnitte 26a in entsprechender Beziehung zu denjenigen des Substrathalters H versehen.

Die erste Transferschale 23 ist axial von der Ladekammer 11 zwischen einer rückwärtigen Position, die in der Fig. 1 mit durchgezogenen Linien gezeigt ist, und einer vorgerückten Transferposition, die in gestrichelten Linien gezeigt ist, bewegbar. Die Substrattransferposition ist dort lokalisiert, wo

die Achse der Ladekammer 11 die der Präparationskammer 10 schneidet. Eine derartige Bewegung der ersten Schale 23 wird von einem Aktuator (hier nicht gezeigt) bewirkt, der einen mit der Schale 23 verbundenen Ausgangsstab 25 aufweist.

Wie die Fig. 3 zeigt, ist die Ladekammer 11 mit einer Zutrittsöffnung 29 versehen, die unmittelbar über der ersten Transferschale 23 angeordnet ist, die in ihre rückwärtige Position gebracht wurde. Die Zugangsöffnung 29 ist hermetisch abschließbar und wird dazu verwendet, einen Satz neuer Substrate B zuzuführen und einen Satz an verarbeiteten Substraten herauszunehmen. Die Ladekammer ist weiterhin mit einer Evakuierungsöffnung 30 ausgestattet, die mit einer Vakuumpumpe zum Evakuieren der Ladekammer verbunden ist.

Die zweite Transferschale 24 weist eine nichtkreisförmige Ausgestaltung auf, die durch ein Paar diametral gegenüberliegender Bögen 24a und ein Paar diametral gegenüberliegender Kurvensehnens 24b definiert wird, wie in Fig. 7 gezeigt ist. Das Sehnenpaar 24b ist parallel zur Achse der Präparationskammer 10 angeordnet. Die Breite der zweiten Schale, nämlich die Entfernung zwischen den Sehnen 24b, ist geringer als die Entfernung zwischen den Lagerarmen 13 des Lagerrahmens 3 (vgl. Fig. 1), so daß die zweite Schale, wenn sie vorgerückt wird, zwischen den Lagerarmen 13 positionierbar ist.

Die zweite Schale 24 ist mit einer nach oben gerichteten Öffnungsaussparung 34 ausgebildet, die durch ein Paar stufenförmiger, vertikaler Wandflächen 34a definiert wird, die sich angrenzend und entlang der Profilbögen 24a erstrecken, wie in den Figuren 7 und 8 veranschaulicht ist. Die Aussparung 34 wird verwendet, um jeden Substrathalter H von oben paßgenau aufzunehmen. Die zweite Schale 24 ist weiterhin mit einer Vielzahl (in der Fig. 7 sieben) kreisförmiger Durchlaßlöcher 33 in entsprechender Beziehung zu den Halteöffnungen 22 des Substrathal-

ters H ausgebildet. Jede Durchlaßöffnung 33 ist mit einer Vielzahl (in der Fig. 7 drei) radialer Ausschnitte 33a in entsprechender Beziehung zu denjenigen des Substrathalters ausgebildet. Es ist anzumerken, daß zwei der Durchlaßöffnungen 33 von den Profilsehnern 24b der Schale unterbrochen werden.

Die zweite Transferschale 24 ist in Axialrichtung der Präparationskammer 10 zwischen einer vorgerückten Position, die in der Fig. 1 durch angedeutete Linien gezeigt ist, und einer zurückgesetzten Transferposition, die in durchgezogenen Linien gezeigt ist, beweglich. Eine derartige Bewegung der zweiten Schale 24 wird durch eine verschiebbare Vorschubanordnung 31 durchgeführt, die einen Schiebestab oder eine Schiebestange 32 aufweist, der bzw. die mit der zweiten Schale verbunden ist. Wie die Fig. 9 besser zeigt, wird der Schiebestab 32 durch eine Längsführung G verschiebbar geführt und trägt eine Zahnstange 31a, die mit einem Ritzel 31b ineinandergreift, das an einen Ausgangsschaft 31c eines externen Antriebsmotors 31d befestigt ist (Fig. 1). Demnach wird der Schiebestab 32 durch Betätigung des Antriebsmotors 31d vor- und zurückbewegt. Mit 41 ist eine Evakuierungsöffnung angezeigt, die an eine externe Vakuumquelle zum Evakuieren der Präparationskammer 10 auf ein Hochvakuum verbunden ist.

Der Transfer eines jeden Substratsets B zwischen der ersten Transferschale 23 und dem entsprechenden Substrathalter H wird durch eine Substrattransferanordnung 28 durchgeführt, die in den Figuren 3, 11 und 12 gezeigt ist. Die Substrattransferanordnung 28 ist an einer Position lokalisiert, bei der sich die jeweiligen Achsen der Präparationskammer 10 und der Ladekammer 11 schneiden, nämlich an der Stelle, bei der die erste Schale 23 in ihrer vorgerückten Position die zweite Schale 24 in ihrer zurückgesetzten Position überlappt. Aus der Fig. 3 ist ersichtlich, daß die erste Schale 23 etwas über der zweiten Schale 24 angeordnet ist.

Die Substrattransferanordnung 28 weist eine kreisförmige Basisplatte 36 auf, die an das obere Ende einer sich vertikal erstreckenden Lagerstange 35 befestigt ist, die durch ein externes Betätigungselement (hier nicht gezeigt) nach oben und unten bewegt wird. Die Basisplatte 36 trägt eine Vielzahl (in der Fig. 12 sieben) aufrecht stehender Stangen 28a in entsprechender Beziehung zu den Halteöffnungen 22 eines jeden Substrathalters H (Fig. 4). Wie die Fig. 11 besser zeigt, ist jede Stange 28a mit einer Vielzahl sich radial erstreckender Sperrhaken 28b versehen, die in entsprechender Beziehung zu den radialen Ausschnitten 22a des Substrathalters H stehen. Diese Sperrhaken werden dazu verwendet, ein entsprechendes Substrat B von unten an drei peripheren Abschnitten desselben eingreifen zu lassen, um es hierdurch zu sperren.

Offensichtlich werden die Ausschnitte 22a (Fig. 4), 26a (Fig. 6), 33a (Fig. 7) verwendet, um einen Durchtritt der Stangen 28a der Substrattransferanordnung 28 zu ermöglichen, wenn die erste Schale 23, die zweite Schale 24 und der Substrathalter H vertikal überlappt werden, wie dies in Fig. 3 gezeigt ist. Normalerweise nimmt die Basisplatte 36 der Transferanordnung 28 eine abgesenkte Position ein, in der die Sperrhaken 28b unter der zweiten Schale 24 lokalisiert sind, wie dies durch die Phantomlinien in Fig. 3 dargestellt ist. Aufgrund dessen, daß Ausschnitte vorgesehen sind, kann die Basisplatte 36 jedoch auf eine erhöhte Position gebracht werden, in der die Sperrhaken über der ersten Schale 23 lokalisiert sind, wie dies mit den durchgezogenen Linien in Fig. 3 gezeigt ist.

Jeder Substratsatz B kann von der ersten Schale 23 in einen entsprechenden Substrathalter H auf der zweiten Schale 24 in der nachfolgend beschriebenen Weise transferiert werden.



Die erste Schale 23 mit einem Satz neu beladener Substrate B wird in eine vorgerückte Position (Position der gestrichelten Linie in Fig. 1) gebracht, während die zweite Schale 24 mit einem leeren Substrathalter H in ihre zurückgesetzte Position (Position der durchgezogenen Linie in Fig. 1) gebracht wird. Zu diesem Zeitpunkt nimmt die Basisplatte 36 der Substrattransferanordnung 28 eine abgesenkte Position (Position der Phantomlinie in Fig. 3) ein. Anschließend wird die Basisplatte 36 gehoben, so daß die Substrate B von der ersten Schale 23 durch die entsprechend angehobenen Sperrhaken 28b abgehoben werden, wie durch die durchgezogenen Linien in Fig. 3 angezeigt wird. In diesem Zustand wird die erste Schale 23 in ihre zurückgezogene Position (durchgezogene Linie in der Fig. 1) bewegt. Eine solche Zurückbewegung der ersten Schale 23 ist möglich, da die Substrathalteöffnungen 26 miteinander durch die geraden Durchführungen 27 (Fig. 6) verbunden sind, um die Stangen 28a in axialer Richtung der Ladekammer 11 zu räumen. Schließlich wird die Basisplatte 36 der Transferanordnung 28 in ihre abgesenkte Position gebracht. Beim Hindurchführen der Sperrhaken 28b durch die Ausschnitte 22a des Substrathalters H werden die Substrate B, welche durch die Sperrhaken gehalten werden, in die jeweiligen Halteöffnungen 22 (Fig. 4) des Halters eingepaßt und durch diese gehalten.

Ein Satz bearbeiteter Substrate B kann von dem entsprechenden Substrathalter H zu der ersten Schale 23 zum Entladen transferiert werden, indem man den obigen Vorgang umkehrt. Die zweite Schale 24 mit dem darauf gehaltenen beladenen Substrathalter H wird genauer gesagt in ihre zurückgezogene Position gebracht, und die Stangen 28a werden angehoben, um die bearbeiteten Substrate vom Halter weg in die höchste Position zu bringen. Dann wird die erste Schale 23 vorgeschoben und die Stangen 28a werden abgesenkt, um die Substrate in die jeweiligen Halteöffnungen 26 (Fig. 6) der ersten Schale 23 zu plazieren.

Der Substrathalter H, welcher mit dem Satz erneut geladener Substrate B geladen ist, wird in die Wachstumskammer 2 durch die Vorwärtsbewegung der zweiten Schale 24 eingeführt. Gemäß der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform wird der Satz neuer Substrate B einer Vorbehandlung in einer Vorheizereinheit 37 unterzogen, bevor er der Wachstumskammer 2 zugeführt wird.

Wie in den Fig. 10 und 12 gezeigt, weist die Vorheizereinheit 37 eine Stapeleinrichtung 39 mit einer Vielzahl an vertikal ausgerichteten Stufen 38 auf. Jede Stufe 38 umfaßt ein Paar Lagerungsplatten 38a, welche quer zum Bewegungsweg der zweiten Transferschale 24 (siehe Fig. 12) beabstandet sind. Der Abstand zwischen dem Paar Lagerungsplatten ist so, daß er die Verbindung von unten mit dem entsprechenden Halter H ermöglicht, während er das freie Durchführen der zweiten Transferschale 24 dazwischen erlaubt. Die Stapeleinrichtung 39 wird auf einem vertikalen Stab 37a gehalten, welcher mittels eines externen Aktuators (nicht gezeigt) auf- und abbewegbar ist. Mit dem Bezugszeichen 40 wird ein Erhitzer bezeichnet, welcher dazu dient, jedes Substrat B vorzuerhitzen, um es zu entgasen.

Um jeden Substrathalter H in der Erhitzungseinheit 37 zu lagern, wird die Stapeleinrichtung 39 in Vertikallage eingestellt, so daß eine ausgewählte Stufe 38 leicht unter dem Bewegungsweg der zweiten Transferschale 24 liegt. Dann wird die zweite Transferschale 24 mit dem Substrathalter H zu der Stapeleinrichtungsposition vorgeschoben, und der Vertikalstab 37 wird angehoben. Folglich wird der Halter auf die ausgewählte Stufe überführt.

Um jeden gestapelten Substrathalter H auf die zweite Transferschale 24 von einer bestimmten Stufe 38 zu transferieren, wird die Stapeleinrichtung 39 in vertikaler Position so eingestellt, daß die Stufe leicht über dem Weg der zweiten Schale gelegen ist. Daraufhin wird die Schale 24 zu der Stapeleinrichtung vor-

wärtsbewegt, so daß sie unterhalb dieser bestimmten Stufe, jedoch überhalb der nächsten daruntergelegenen Stufe, zum Liegen kommt, wobei die Stapeleinrichtung 39 gesenkt wird, um den Halter auf die zweite Schale zu überführen.

Der Substrathalter H, welcher auf diese Weise von der Stapelinrichtung 39 aufgenommen wurde, kann auf den Halterahmen 3 (Fig. 1, 2 und 12) innerhalb der Wachstumskammer 2 auf folgende Weise transferiert werden.

Der Halterahmen 3 ist in vertikaler und in Drehlage eingestellt, so daß seine Haltearme 13 parallel zu dem Bewegungsweg der zweiten Schale 24 ausgerichtet werden, wobei sie leicht darunter gelegen sind. Daraufhin wird die zweite Schale mit dem beladenen Substrathalter H maximal in die Wachstumskammer 2 vorwärtsbewegt. In diesem Zustand ist die zweite Schale zwischen den Haltearmen 13 angeordnet. Der Halterahmen 3 wird schließlich ohne Drehung angehoben, wobei der Halter H von der zweiten Schale abgehoben wird, welche daraufhin in die Präparationskammer zurückgeführt wird.

Nachdem das kristalline Wachstum innerhalb der Wachstumskammer 2 vollendet ist, wird der Halter H mit den bearbeiteten Substraten B von dem Halterahmen 3 auf die zweite Schale 24 transferiert, indem der obige Vorgang umgekehrt ausgeführt wird.

Die Gesamtbetriebsweise des so beschriebenen Molekularstrahl-epitaxiegerätes wird nun systematischer, besonders unter Bezugnahme auf die Figuren 1 und 12, beschrieben.

Es wird nun angenommen, daß die Wachstumskammer 2 bereits vorher auf ein ultrahohes Vakuum evakuiert und für kristallines Wachstum vorbereitet wurde, während die Präparationskammer 10 unter hohes Vakuum gesetzt wurde. In diesem Zustand werden die

Schiebeventile 8, 9 hermetisch geschlossen, um einen Vakuumverlust zu verhindern. Innerhalb der Präparationskammer 10 nimmt die zweite Schale 24, welche einen leeren Substrathalter H hält (welcher dem Vorheizelement 37 entnommen wurde), ihre zurückgezogene Lage ein, um auf Versorgung mit Substrat zu warten. Innerhalb der Ladekammer 11 nimmt auch die erste Schale 23 ihre zurückgezogene Position ein, um für Substratversorgung bereit zu sein.

Ausgehend von dem obigen Zustand wird die Zugangsöffnung 29 (siehe Fig. 3) der Ladekammer 11 geöffnet, um einen frischen Satz an Substraten B an die jeweiligen Halteöffnungen 26 (siehe Fig. 6) der ersten Schale 23 zu liefern. Die Zugangsöffnung wird dann geschlossen, und die Ladekammer wird dann auf ein Vakuumlevel evakuiert, das dem der Präparationskammer 10 entspricht.

Das zweite Schiebeventil 9 wird geöffnet, und die erste Schale 23 wird in die Präparationskammer 10 vorwärtsbewegt, um unmittelbar über der zweiten Schale 24 positioniert zu werden. Die Substrattransferanordnung 28 wird zur Transferierung der Substrate B in die jeweiligen Halteöffnungen (Fig. 4) des Halters H, wie bereits beschrieben, betrieben. Die erste Schale 23 wird in die Ladekammer 11 zurückgezogen, um ihre zurückgezogene Position einzunehmen, und das zweite Schiebeventil 9 wird erneut geschlossen, um das Laden eines anderen, frischen Sets an Substraten zu ermöglichen.

Innerhalb der Präparationskammer 10 bewegt sich die zweite Schale 24, welche nun den beladenen Halter H trägt, zu der Vorheizeinheit 37, um den Halter auf einer ausgewählten Stufe 38 der Stapeleinrichtung 39 (Fig. 10) zu plazieren, wie hier bereits beschrieben wurde. Die zweite Schale 24 wiederholt die Hin- und Herbewegung zwischen der Vorheizeinheit 37 und der zurückgezogenen Position, bis alle Halter in der Stapeleinrich-

tung 39 völlig beladen sind. Die Halter H zusammen mit den Substraten B werden einer Erhitzung unterzogen, um sie unter hohem Vakuum zu entgasen.

Nach Abschluß der obigen vorbereitenden Schritte wird das erste Schiebeventil 8 geöffnet. Daraufhin wird die zweite Schale 24, welche einen geladenen Halter H von der Vorheizereinheit 37 erhalten hat, weiter in die Wachstumskammer 2 vorwärtsbewegt, um sie auf den Halterahmen 3 zu plazieren, wie hier bereits beschrieben wurde. Die zweite Schale 24 wird dann in die Präparationskammer 10 zurückgezogen, und das erste Schiebeventil 8 wird erneut geschlossen.

Innerhalb der Wachstumskammer 2 wird der Halter H zusammen mit den gehaltenen Substraten B weiter unter Erhitzung (beim Erhitzer 20) und ultrahohem Vakuum entgast. Jedes Substrat wird dann durch Molekularstrahlepitaxie einem kristallinen Wachstum unterzogen. Bei einer solchen Kristallbildung wird der Halterahmen 3 um eine Vertikalachse gedreht, um gleichförmiges kristallines Wachstum bezüglich jedes Substrates sicherzustellen.

Nach Abschluß des erforderlichen Kristallwachstums wird das Schiebeventil 8 erneut geöffnet, um die Wachstumskammer 2 in Verbindung mit der Präparationskammer 10 zu bringen, welche bis zu einem hohen Vakuum evakuiert wurde. Der Halterahmen 3 wird in vertikaler und Drehlage zur Substratentladung eingestellt, und die zweite Schale 24 wird maximal nach vorne bewegt, um von dem Halterahmen 3 den Halter H mit dem Satz bearbeiteter Substrate B zu empfangen. Während diesem Zyklus ist das zweite Schiebeventil 9 geschlossen.

Die zweite Schale 24 wird zurückgezogen, um ihre maximale zurückgezogene Position einzunehmen, und das erste Ventil 8 wird geschlossen. Zu diesem Zeitpunkt ist die Ladekammer 11 zu einem hohen Vakuum evakuiert. Dann wird das zweite Schiebeventil 9

geöffnet, und die erste Schale 23 wird nach vorne bewegt, um den Satz an bearbeiteten Substraten von dem Halter H mit Hilfe der Transferanordnung 28 zu empfangen, wie hier bereits beschrieben wurde.

Die erste Schale 23 mit den bearbeiteten Substraten B wird zurückgezogen, und das zweite Schiebeventil 9 wird erneut geschlossen. Die Zugangsöffnung 29 (Fig. 3) wird dann zur Entnahme der bearbeiteten Substrate geöffnet. Falls erforderlich, kann die erste Schale 23 ein neues Set an Substraten, unmittelbar nachdem die bearbeiteten Substrate entnommen wurden, aufnehmen.

Innerhalb der Präparationskammer 10 kann die zweite Schale 24, welche den geleerten Halter H trägt, sofort nach vorne bewegt werden, um den leeren Halter in die Erhitzungseinheit 37 zurückzuführen. Alternativ kann die zweite Schale mit dem leeren Halter zurückgezogen bleiben, bis der Halter mit einem neuen Satz an Substraten beladen ist, und daraufhin vorwärtsbewegt werden, um die beladenen Halter in der Erhitzungseinheit 37 zu lagern. Diese Alternative ermöglicht einen kontinuierlichen Betrieb des Epitaxiegerätes.

Es sollte zur Kenntnis genommen werden, daß die obige Betriebsweise nur ein Beispiel darstellt. Das Epitaxiegerät gemäß der Erfindung kann auf verschiedene Weisen betrieben werden. Beispielsweise kann jeder Substrathalter H in die Wachstumskammer 2 eingeführt werden, ohne Vorbehandlung in der Vorheizeinheit 37, unmittelbar nachdem er mit einem Satz unbearbeiteter Substrate B beladen ist.

In jeder Betriebsweise bewegt sich jeder Substrathalter H nur zwischen Wachstumskammer 2 mit ultrahohem Vakuum und der Präparationskammer 10 unter hohem Vakuum. Mit anderen Worten, der Halter H kommt niemals in direkten Kontakt mit der Atmosphäre

und/oder der verunreinigenden Umgebung während des wiederholten Betriebes des Epitaxiegerätes, wobei die Zeit, welche zum Entfernen von Verunreinigungen erforderlich ist, durch Entgasung in der Wachstumskammer 2 unter Hitze und ultrahohem Vakuum stark vermindert wird. Die Produktivität des Molekularstrahlepitaxiegerätes gemäß der Erfindung wird hierdurch ausreichend verbessert, um eine praktische Anwendung in kommerziellem Umfang zu ermöglichen.

Es ist bei jedem Epitaxiegerät praktisch unvermeidlich, daß die Substrate selbst in Kontakt mit der Atmosphäre kommen. Der Gedanke der Erfindung liegt daher darin, die Chance des Eintritts von Verunreinigung in die Wachstumskammer soweit wie möglich zu vermindern.

Kehren wir zu Fig. 2 zurück, so ist der zentrale Verdampfer 5a im Gegensatz zu den seitlichen Verdampfern 5b, 5c nicht mit einer Riegelanordnung versehen, wie bereits beschrieben wurde. Um die Gründe dafür zu erklären, wird nun weiter auf die Einzelheiten der Molekularstrahlepitaxie eingegangen.

Es ist bekannt, daß bei der Molekularstrahlepitaxie die Ablagerungsrate bestimmter Kristallelemente durch die Menge an anderen Elementen, welche bereits auf der Wachstumsfront eines Substrates abgelagert sind, bestimmt wird. Das Konzept des "Ablagerungskoeffizienten" wird nun verwendet, welcher als das Verhältnis zwischen der Anzahl an abgelagerten Partikeln (Molekülen) zu auftreffenden Partikeln definiert ist. Bei der Ablagerung eines Elementes der Gruppe V, beispielsweise Arsen As ( $\text{As}_2$ - oder  $\text{As}_4$ -Molekül), auf die Wachstumsfront eines GaAs-Substrates, beträgt der Ablagerungskoeffizient von As fast 1 (eins) bei Anwesenheit von abgelagerten Ga oder Al auf der Wachstumsfront, aber vermindert sich fast zu 0 (null) bei Abwesenheit von Ga oder Al. Es ist daher möglich, die Ablagerung

der Elemente der Gruppe V durch Steuerung der Ablagerung der anderen Elemente indirekt zu kontrollieren bzw. zu steuern.

Es ist ferner bekannt, daß im Gegensatz zu anderen Elementen die Elemente der Gruppe V Molekularstrahlen bei relativ niedriger Temperatur von ungefähr 300°C emittieren. Auf diese Weise ist es einfacher, die Molekularstrahlemission der Elemente der Gruppe V durch Temperaturkontrolle einzuleiten und zu unterbrechen.

Aus diesen Gründen ist der zentrale Verdampfer 5a für ein Element der Gruppe V (besonders Arsen As) nicht mit einer Verriegelungsvorrichtung versehen. Die Molekularstrahlemission aus dem zentralen Verdampfer wird durch Einstellung von dessen Temperatur kontrolliert, während die Ablagerung von As auf der Wachstumsfläche eines jeden Substrates B durch Steuerung der Schließanordnung 7 eines jeden Verdampfers 5b, 5c kontrolliert wird.

Tatsächlich ist der Verbrauch eines Elementes der Gruppe V bei der Molekularstrahlepitaxie am höchsten. Daher ist ein Verdampfer mit großem Fassungsvermögen für ein solches Element erforderlich, um kontinuierliches oder wiederholtes kristallines Wachstum pro einzeltem Versorgungsstapel von diesem Material zu gestatten. Falls dieser Verdampfer mit einer Schließplatte, welche groß genug ist, um die Emissionsöffnung des Verdampfers zu schließen, versehen ist, müssen die übrigen Verdampfer von dem Verdampfer des Elementes aus der Gruppe V relativ entfernt liegen, um die Öffnungsbewegung der großen Schließplatte zu gestatten. Infolge des begrenzten Montageraumes einer Wachstumskammer besteht jedoch auch eine Grenze bezüglich der Größe der Schließplatte, d.h. bezüglich der Größe des Verdampfers. Daher kann bei einem herkömmlichen MBE-Gerät, bei dem alle Verdampfer mit Schließanordnungen versehen sind, der Verdampfer des Elementes aus der Gruppe V nicht ein ausreichendes Fassungsver-



mögen aufweisen, wodurch ein häufiges Wiederbeladen des Materials erforderlich wird.

Offensichtlich vereinfacht das Nicht-Vorsehen einer Schließanordnung bezüglich des zentralen Verdampfers 5a nicht nur den Aufbau der Wachstumskammer 2, sondern ist ferner vorteilhaft für die Erhöhung des Fassungsvermögens (Volumens) des Tiegels 4 zur Aufnahme von As. Auf diese Weise ist es möglich, das Gerät für eine verlängerte Zeitdauer mit einem einmaligen Vorgang der Materialversorgung zu betreiben, während die Wahrscheinlichkeit von Betriebsfehlern und die Wartungshäufigkeit vermindert werden.

Gemäß der bestimmten Anordnung, welche in Fig. 2 gezeigt ist, befindet sich der Verdampfer 5a für das Element der Gruppe V im Mittelpunkt des stumpfkegeligen Grundabschnittes 2b der Wachstumskammer 2, während die übrigen Verdampfer um den zentralen Verdampfer angeordnet sind. Diese Anordnung trägt auch zur Erhöhung des Fassungsvermögens des zentralen Tiegels 4 bei, während sie es gleichzeitig ermöglicht, eine maximale Anzahl an weiteren Verdampfern um den zentralen Verdampfer herum anzuordnen.

Dank des Nichtvorhandenseins einer Schließanordnung kann die Emissionsöffnung des zentralen Verdampfers 5a hin zu den Substraten B zeigen. Diese Anordnung ist zur Verminderung der Streumolekularstrahlen (nicht abgelagertes Material) vorteilhaft, und verhindert folglich Materialverschwendung.

Andererseits ist zu fürchten, daß die nicht schließbare Emissionsöffnung des zentralen Verdampfers 5a es Verunreinigungen gestattet, sich mit dem darin befindlichen Material (V-Element) zu vermischen. Wie unten beschrieben, arbeitet der Verdampfer 5a für das Element aus der Gruppe V jedoch bei relativ niedriger Temperatur, so daß die vermischten Absinkstoffe bei der Ar-

beitstemperatur des zentralen Verdampfers nicht verdampfen werden.

Wie in Fig. 2 dargestellt, besitzt der Drehschaft bzw. Drehwelle 7a einer jeden Schließanordnung eine Achse Y, welche sich der Längsachse b (oder c) der entsprechenden Verdampfer 5b (oder 5c) annähert. Die Schließplatte 7b ist mit der Drehwelle 7a durch einen gebogenen Arm 7c in solcher Weise verbunden, daß die Schließplatte 7b im wesentlichen parallel zu der Emissionsöffnung des Verdampfers liegt, wenn die Schließplatte eine geschlossene Position einnimmt. Gemäß dieser Anordnung ist die Schließplatte 7b am nächsten zu der Wandungsfläche der Wachstumskammer 2 in geschlossener Position gelegen, aber entfernt sich graduell von der Wandfläche bei Öffnungsbewegung, wie durch die gestrichelten Linien angezeigt wird.

Andererseits, falls die Drehachse Y der Schließplatte 7b parallel zu der Längsachse des Verdampfers ist, nähert sich die Schließplatte 7b der Wandfläche der Wachstumskammer 2 bei einer Öffnungsbewegung, weil der Grundabschnitt 2b der Wachstumskammer 2 konisch ist. Daher muß die Schließplatte 7b, wenn sie ihre geschlossene Position einnimmt, von der Emissionsöffnung des entsprechenden Verdampfers beabstandet plaziert werden, um eine Öffnungsbewegung der Schließplatte zu ermöglichen. Folglich kann die Schließplatte 7b in geschlossener Position darin versagen, die Molekularstrahlen effektiv abzuschneiden, und dabei einerseits eine genaue Kontrolle des kristallinen Wachstums verhindern und andererseits Undichtigkeit des verdampften Materials verhindern. Ferner, falls die Schließplatte 7b in geschlossener Position unannehmbar nahe der Emissionsöffnung des Verdampfers gelegen ist, wird sie die Kammerwandfläche berühren und Verunreinigungen infolge des Kontaktaufpralles erzeugen, welche einen negativen Einfluß auf das kristalline Wachstum haben können.

Die nicht-parallele Ausrichtung der Drehachse Y relativ zu der entsprechenden Verdampferachse ist daher darin vorteilhaft, daß die Schließplatte 7b in ihrer geschlossenen Position maximal nahe zu der Emissionsöffnung des Verdampfers ohne das Problem der Verunreinigungserzeugung platziert werden kann, was folglich eine genaue Kontrolle des kristallinen Wachstums ermöglicht. Diese Anordnung ist ferner darin vorteilhaft, daß sie Gasundichtheit verhindert, wenn die Schließplatte ihre Schließposition einnimmt.

Wie in den Fig. 13a bis 13c gezeigt, erstreckt sich der gebogene Arm 7c der Schließanordnung vorzugsweise tangential zu der im allgemeinen kreisförmigen Schließplatte 7b und ist mit deren Hinterkante verbunden (gesehen in Richtung der Öffnungsbewegung des Schließers). Es sollte hier beachtet werden, daß Fig. 13b eine Ansicht aus Richtung eines Pfeiles M in Fig. 13a ist, welche eine Draufsicht auf die Schließplatte ist, während Fig. 13c eine Ansicht aus Richtung eines Pfeiles N in Fig. 13a ist.

Gemäß der bevorzugten Anordnung der Fig. 13a bis 13c entfernen sich alle Abschnitte der Schließplatte 7b von der Wandfläche der Wachstumskammer 2 (oder dessen konischen Grundabschnittes 2b) unmittelbar bei Beginn der Öffnungsbewegung des Schließers, wie am besten in Fig. 13c dargestellt ist. Daher kann die Schließplatte 7b noch näher zu der Emissionsöffnung des entsprechenden Verdampfers platziert werden.

Unter nochmaliger Bezugnahme auf Fig. 2 sollte die Drehwelle 7a einer jeden Schließanordnung 7 vorzugsweise zwei axial trennbare Abschnitte 7a', 7a'' enthalten, welche durch einen querstehenden Bolzen (nicht gezeigt) verbunden sind. Die Drehwelle ist in einem röhrenförmigen Gehäuse 16 eingeschlossen, welches ebenfalls zwei axial trennbare Abschnitte aufweist, welche jeweils mit ringförmigen Flanschen 17a, 17b zur Verbindung mittels Bolzen vorgesehen sind.

Um die Schließplatte 7b beispielsweise zum Reinigen zu entfernen, werden die Flansche 17a, 17b des röhrenförmigen Gehäuses 16 axial leicht getrennt. Zu diesem Zeitpunkt sind die zwei Schaftabschnitte 7a', 7a" noch verbunden und werden zusammen nach unten gezogen. Folglich wird ein geeignetes Werkzeug, wie ein Treiber bzw. Schraubenzieher, in das röhrenförmige Gehäuse 16 durch einen schmalen Spalt zwischen den getrennten Flanschen 17a, 17b eingeführt, und der Bolzen (nicht gezeigt), welcher die zwei Wellenabschnitte 7a', 7a" verbindet, wird entfernt. Schließlich wird die Schließplatte 7b zusammen mit dem oberen Wellenabschnitt 7a" durch eine hermetisch verschließbare Sichtöffnung (nicht gezeigt) der Wachstumskammer 2 oder durch die obere Öffnung der Wachstumskammer 2 (nach Entfernen der Deckplatte 12) entnommen. Die Rückmontage der Schließplatte 7b kann offensichtlich in umgekehrter Reihenfolge durchgeführt werden.

Herkömmlicherweise müssen alle Schritte, welche zum Entfernen und zur Rückmontage der Schließplatte erforderlich sind, durch Einführen der Hände des Bedienpersonals durch eine Sichtöffnung der Wachstumskammer durchgeführt werden, was wirklich zeitraubend und lästig ist. Gemäß der bevorzugten Schließanordnung 7, wie in Fig. 2 gezeigt, können andererseits die meisten Bedienschritte zur Entfernung und Rückmontage des Schließers von außen an der Stelle der ringförmigen Flansche 17a, 17b ausgeführt werden.

Deutsches Aktenzeichen : 689 16 457.2-08  
Europäische Patentanmeldung Nr.: 89 105 248.2-2112  
Anmelder: ROHM CO., LTD.

**PATENTANSPRÜCHE:**

1. Molekularstrahlepitaxiegerät mit: einer auf ein Ultrahochvakuum evakuierbaren Wachstumskammer (2); einer in der Wachstumskammer (2) angeordneten Lagereinrichtung (3) für einen Halter; einer mit der Wachstumskammer (2) über ein erstes Schiebeventil (8) verbundenen und auf ein hohes Vakuum evakuierbaren Präparationskammer (10); einer mit der Präparationskammer (10) über ein zweites Schiebeventil (9) verbundenen und auf ein Hochvakuum evakuierbaren Ladekammer (11); einem in der Ladekammer zur gleichzeitigen Aufnahme wenigstens eines Substrates (B) angeordneten ersten Transferelement (23), wobei das erste Transferelement (23) in die Präparationskammer (10) durch das offene zweite Schiebeventil (9) zur Annahme einer vorgerückten Transferposition bewegbar ist; einem in der Präparationskammer angeordneten zweiten Transferelement (24) zur Anordnung eines Substrathalters (H) auf diesem, wobei das zweite Transferelement (24) von einer zurückgezogenen Transferstellung in die Wachstumskammer (2) durch das offene erste Schiebeventil (8) zur Ermöglichung eines Transfers des Halters (H) zwischen dem zweiten Transferelement (24) und der Lagereinrichtung (3) für den Halter bewegbar ist; und mit einem in der Präparationskammer zum Transfer des oder eines jeden Substrats (B) zwischen dem ersten Transferelement (23) in eine vorgerückte Transferstellung angeordneten Substrattransferaufbau (28) und dem auf dem zweiten Transferelement (24) in der zurückgezoge-

nen Transferstellung angeordneten Halter (H); dadurch gekennzeichnet,  
daß der Substrathalter (H) eine Vielzahl von Halteöffnungen (22) aufweist, in die eine entsprechende Anzahl von Substraten (B) eingebracht und gehalten ist;  
daß das zweite Transferelement (24) hat die Form einer Schale mit einer Vielzahl von Durchlaßlöchern (33) in entsprechender Beziehung zu den Halteöffnungen (22) des Substrathalters (H) besitzt; und  
daß das erste Transferelement (23) ebenfalls die Form einer Schale mit einer Vielzahl von Halteöffnungen (26) in entsprechender Beziehung zu den Halteöffnungen (22) des Substrathalters (H) zur Aufnahme und Halterung einer entsprechenden Zahl von Substraten (B) besitzt.

2. Gerät nach Anspruch 1, bei dem die erste Transferschale (23) in der vorgerückten Stellung unmittelbar über der zweiten Transferschale (24) in der zurückgezogenen Transferstellung angeordnet ist.
3. Gerät nach Anspruch 2, bei dem der Substrattransferaufbau (28) eine Vielzahl von auf einer vertikal bewegbaren Grundfläche (36) montierten nach oben gerichteten Ständern (28a) aufweist, wobei jeder Ständer an seinem oberen Ende mit einer Vielzahl von sich radial erstreckenden Klauen (28b) zum unterseitigen Ergreifen eines entsprechenden Substrats (B) gebildet ist und es von dem Substrathalter (H) abhebt, wenn die Grundfläche (36) angehoben wird, wobei jede Öffnung (22, 26, 33) des Substrathalters (H), die erste Transferschale (23) und die zweite Transferschale (24) mit einer Vielzahl von radialen Ausschnitten (22a, 26a, 33a) in entsprechender Beziehung zu den Klauen (28b) für deren Durchtreten ausgebildet sind.
4. Gerät nach Anspruch 3, bei dem die Halteöffnungen (26) der ersten Transferschale (23) entlang gerader Reihen angeordnet sind, wobei die Halteöffnungen (26) in jeder

Reihe durch eine gerade Durchführung (27) verbunden sind, damit die erste Transferschale (23) in die Ladekammer (11) selbst dann zurückziehbar ist, wenn die Grundfläche (36) des Substrataufbaus (28) angehoben ist.

5. Gerät nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Lagereinrichtung (3) für den Halter die Form eines Halterrahmens mit einem Paar beabstandeter horizontaler Haltearme (13) besitzt, die von unten mit dem Substrathalter (H) in Eingriff bringbar sind.
6. Gerät nach Anspruch 5, bei dem das zweite Transferelement (24) eine kleinere Breite als der Zwischenraum zwischen den zwei Haltearmen (13) derart besitzt, daß das zweite Transferelement (24) zu einer Position zwischen den zwei Haltearmen (13) bewegbar ist, wobei der Halterahmen (3) für einen Transfer des Substrathalters (H) zwischen dem zweiten Transferelement (24) und den zwei Lagerarmen (13) vertikal bewegbar ist.
7. Gerät nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 6, welches zudem eine in der Präparationskammer (10) zwischen der Wachstumskammer (2) und der zurückgezogenen Position des zweiten Transferelements (24) angeordnete Vorheizeinheit (37) zum Ausgasen des durch den Halter (H) gehaltenen Substrats (B) vor dem Eintritt in die Wachstumskammer aufweist.
8. Gerät nach Anspruch 7, bei dem die Vorheizeinheit (37) eine Stapeleinrichtung (39) zur Lagerung einer Vielzahl von Substrathaltern (H) in vertikal beabstandeten Stufen (38) aufweist.
9. Gerät nach Anspruch 8, bei dem jede Stufe (38) der Stapeleinrichtung (39) mit einem Paar von Lagerungsplatten (38a) versehen ist, die quer zum Transportweg des zweiten Transferelements (24) beabstandet sind, wobei das Paar

Lagerungsplatten (38a) mit einem entsprechenden Substrathalter (H) von unten beaufschlagbar ist, jedoch genügend für eine Durchführung des zweiten Transferelements (24) beabstandet ist.

10. Gerät nach Anspruch 9, bei dem die Stapeleinrichtung (39) derart vertikal bewegbar ist, daß durch die Stapeleinrichtung, ein Transfer eines jeden Substrathalters (H) zwischen dem zweiten Transferelement (24) und der Stapeleinrichtung (39) durchführbar ist.



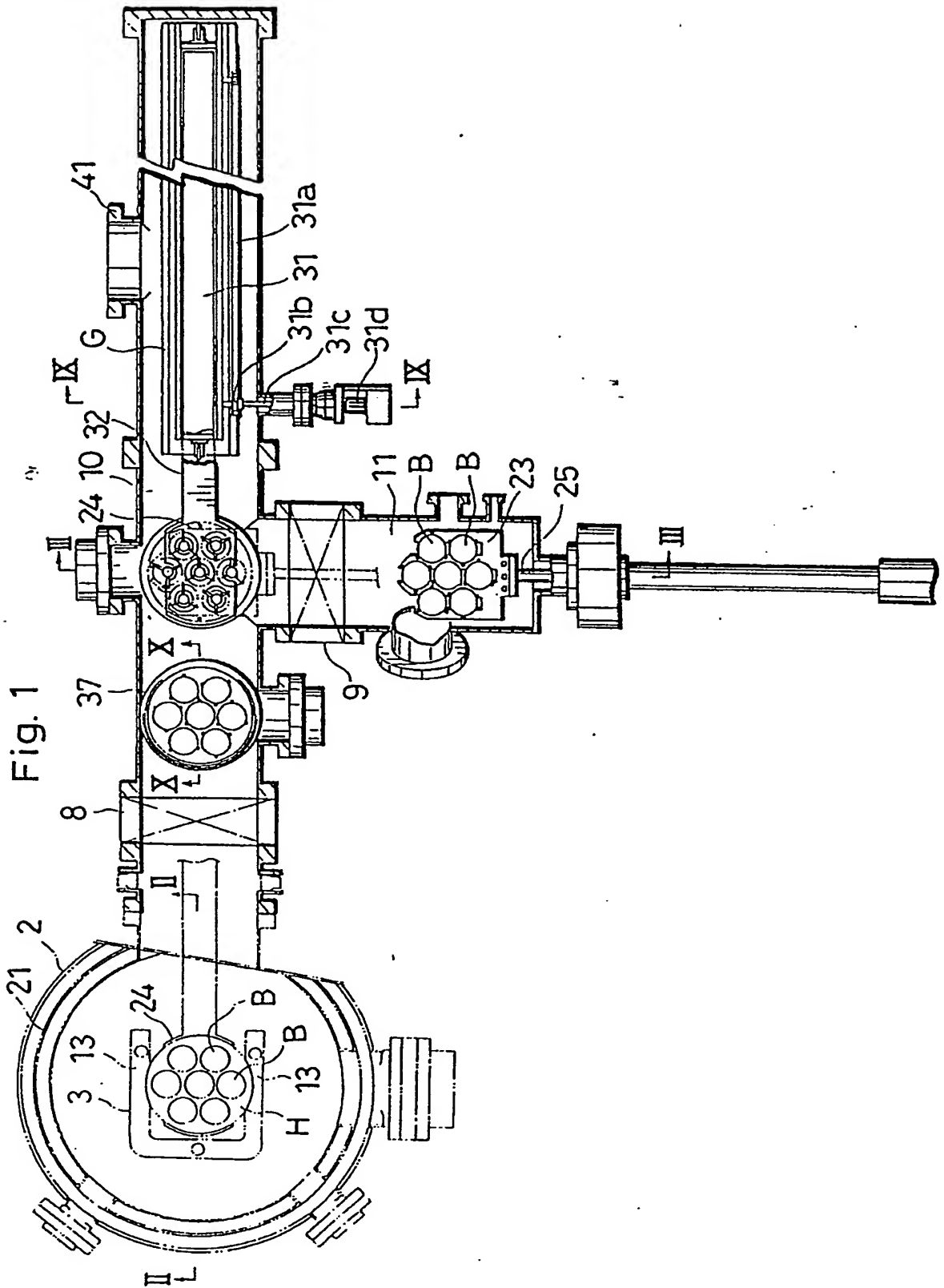




Fig. 3

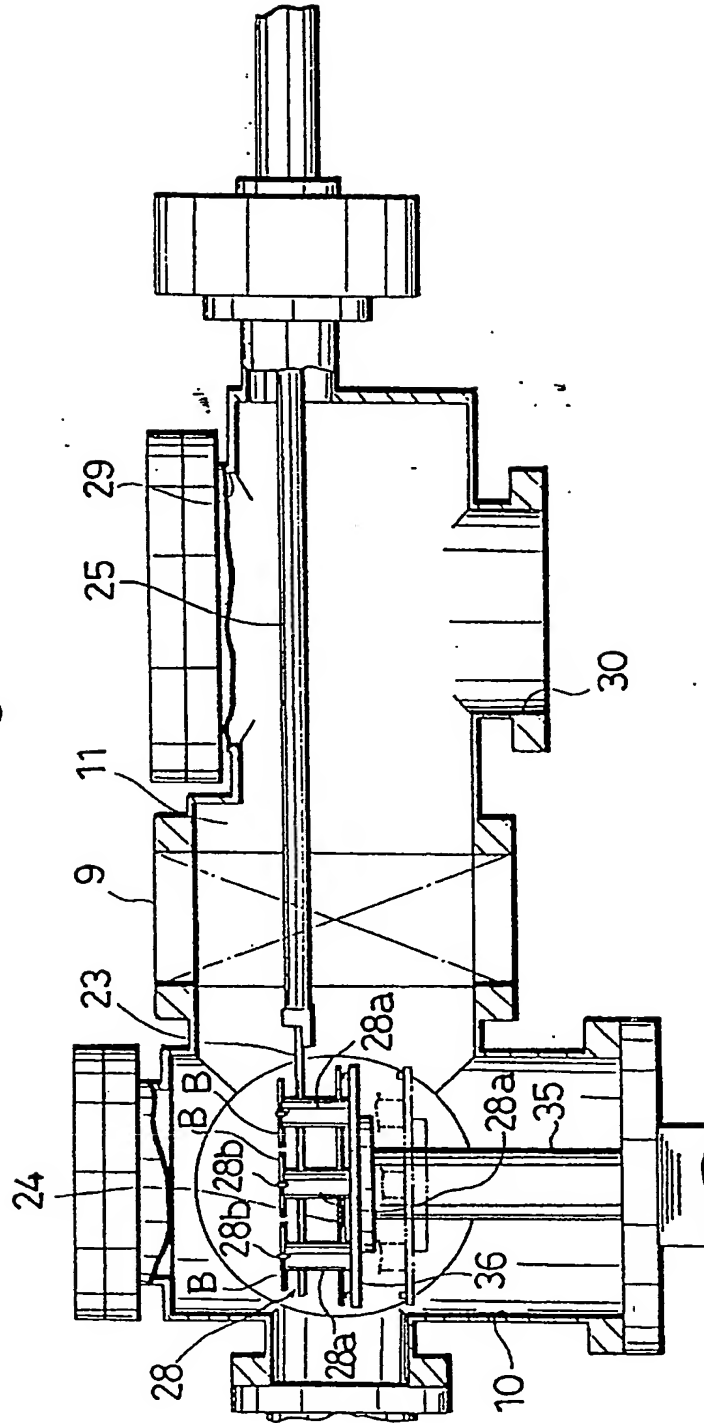


Fig. 4

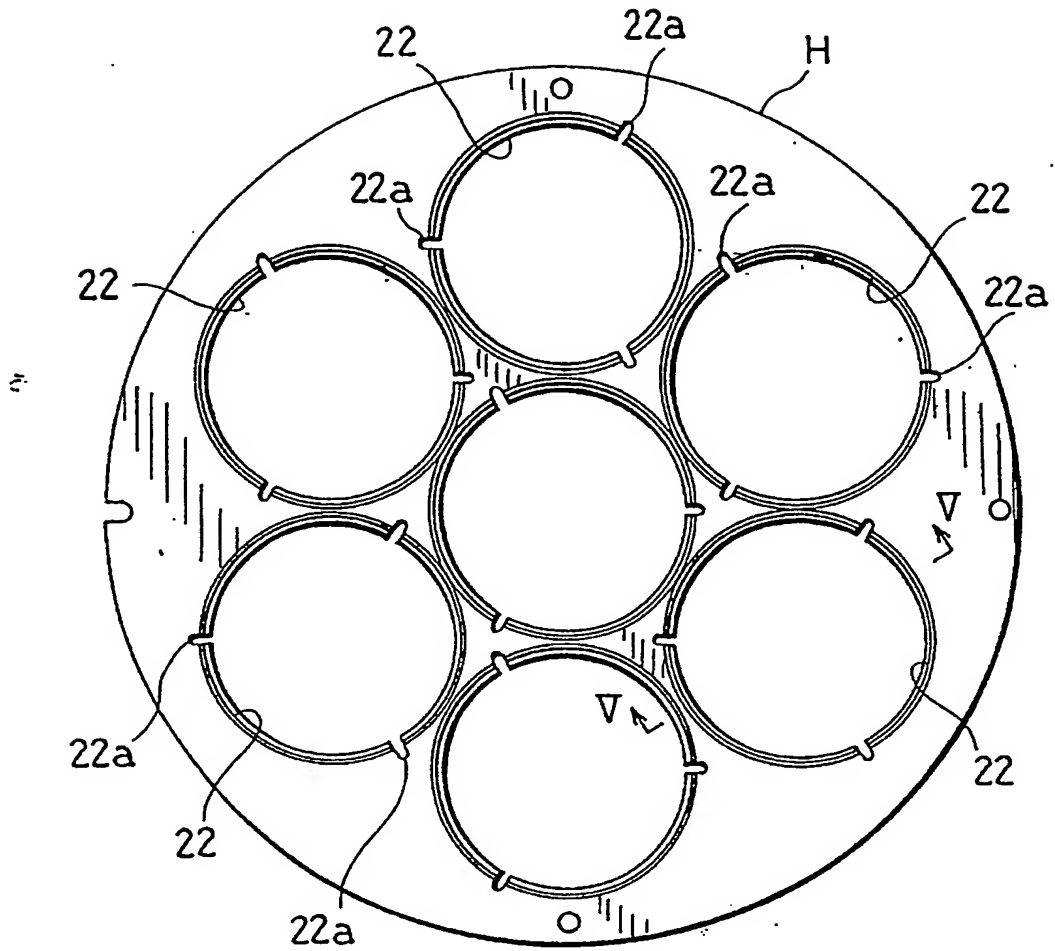


Fig. 5

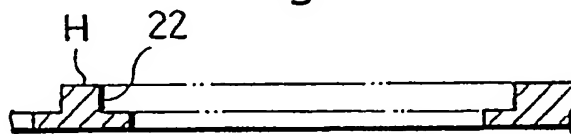


Fig. 6

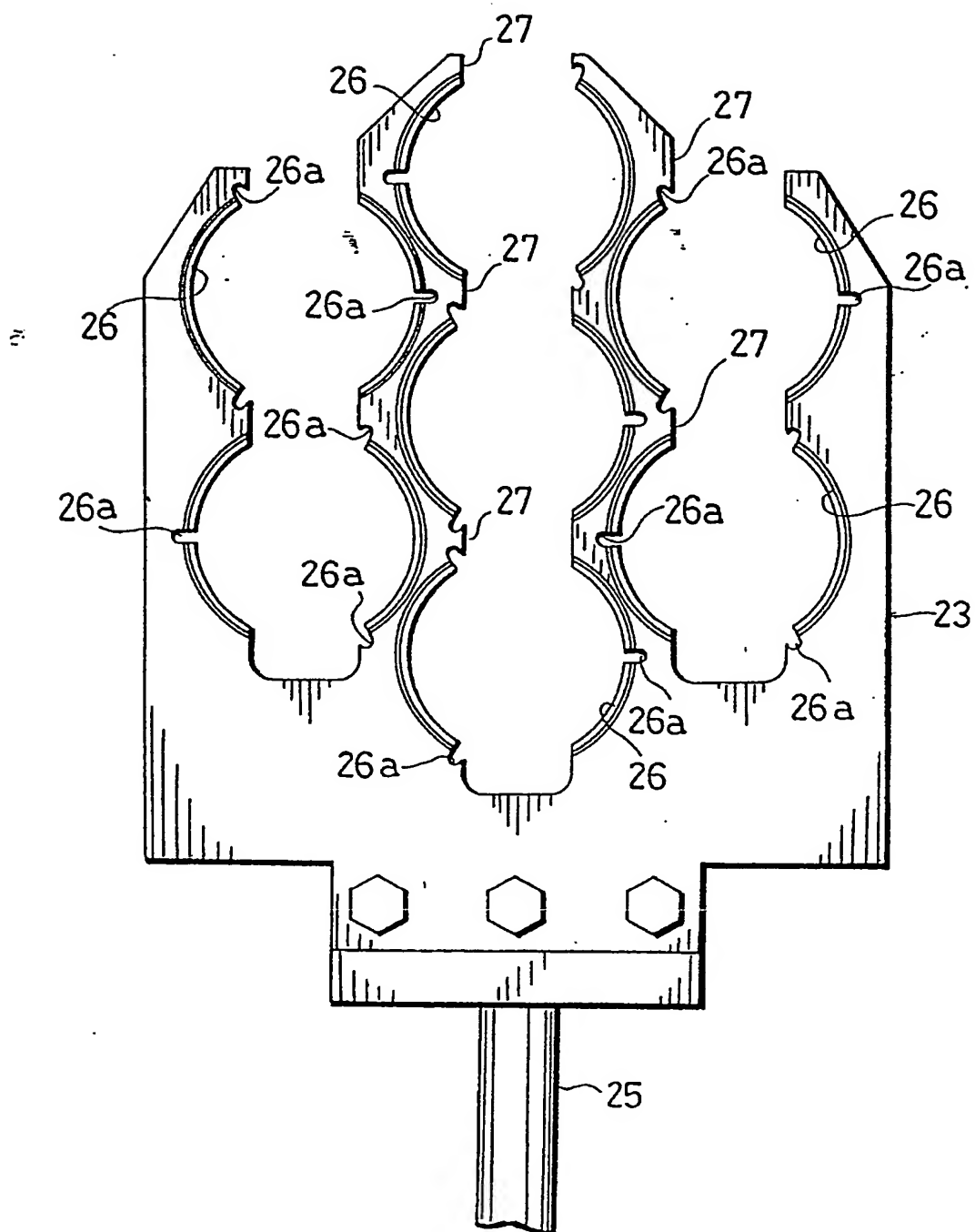


Fig. 7

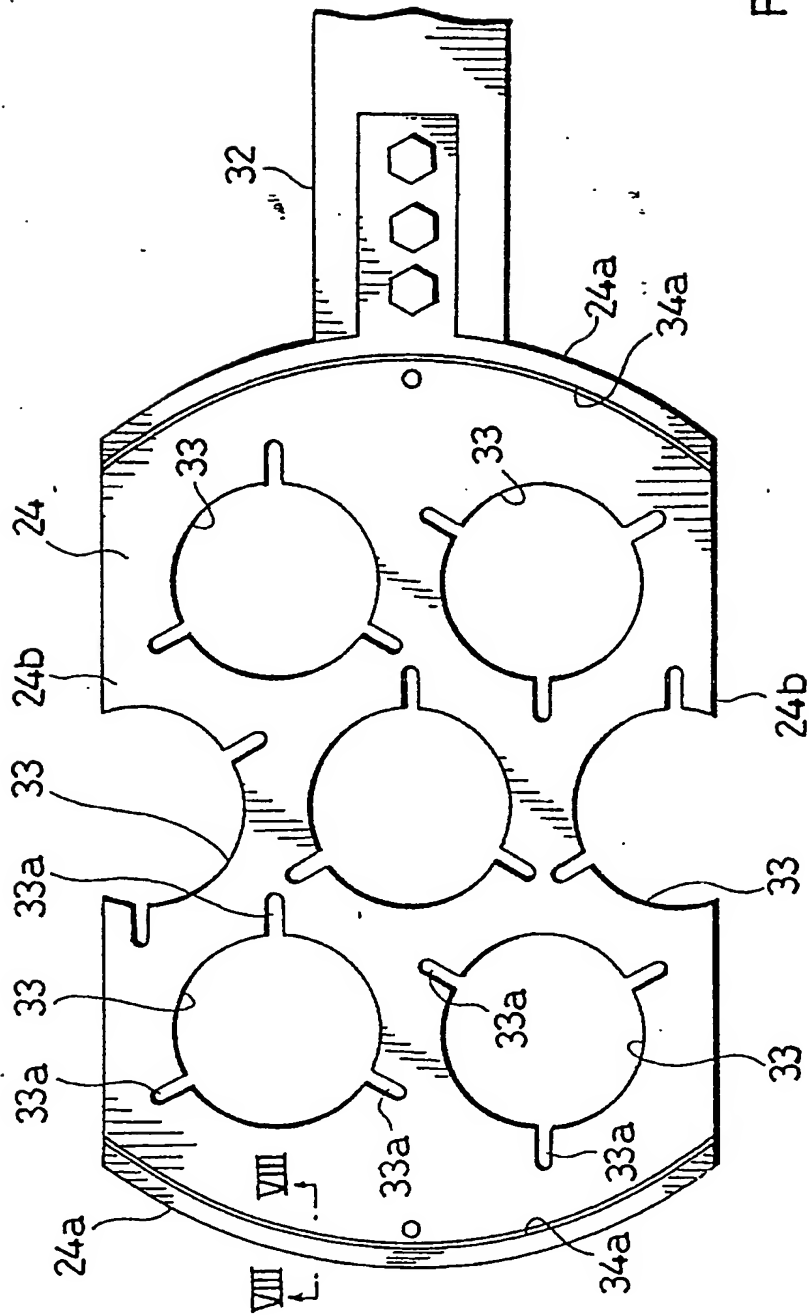


Fig. 8

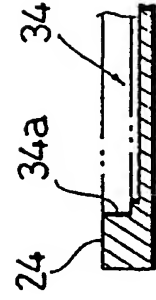


Fig. 9

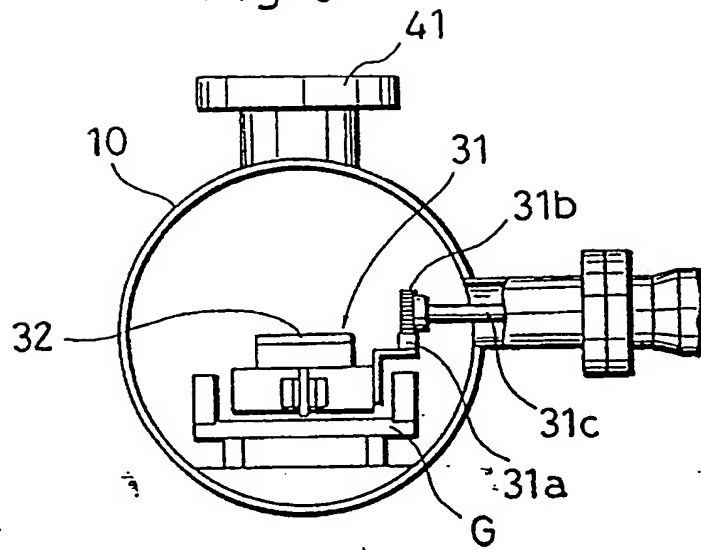


Fig. 10

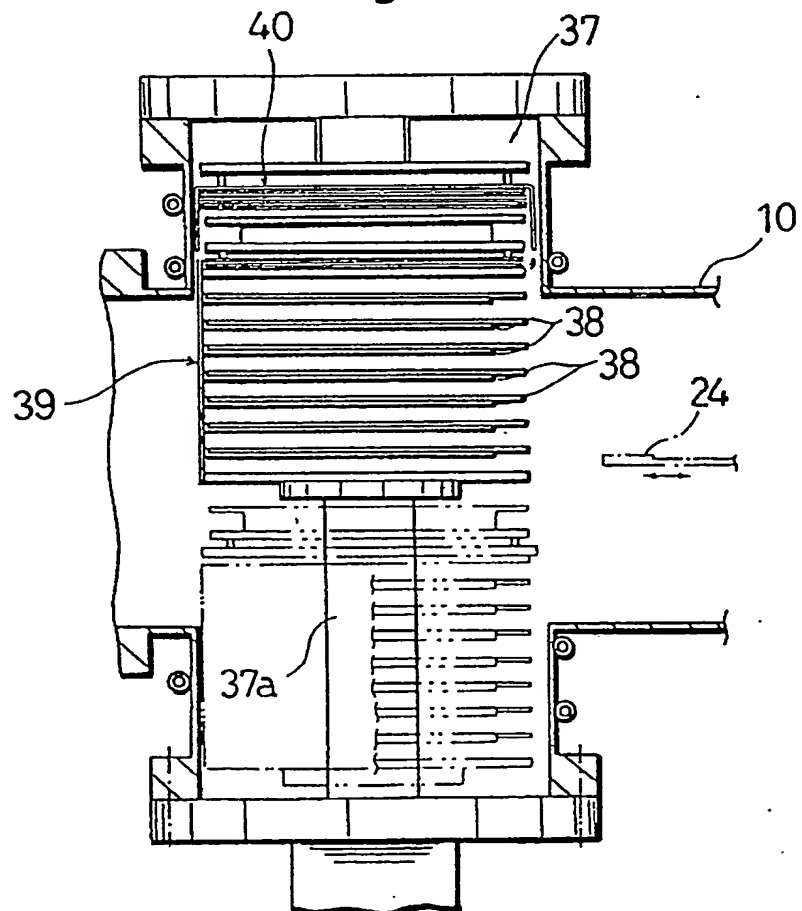






Fig. 13a

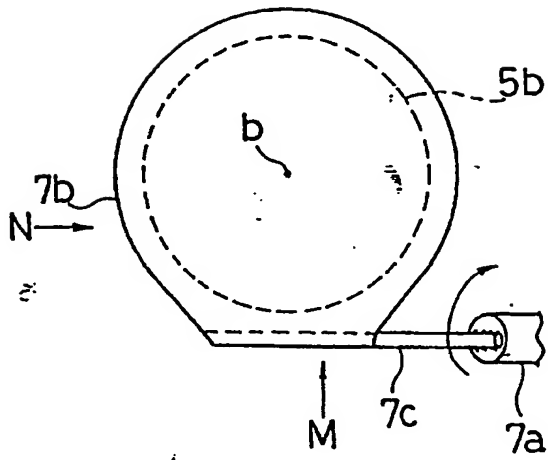


Fig. 13b

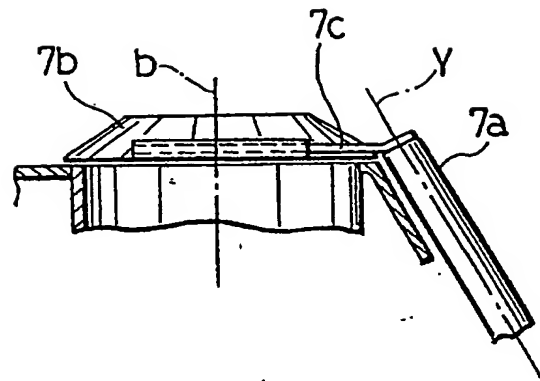


Fig. 13c

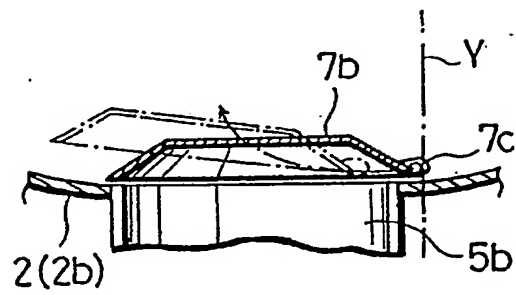


Fig. 14  
Prior Art

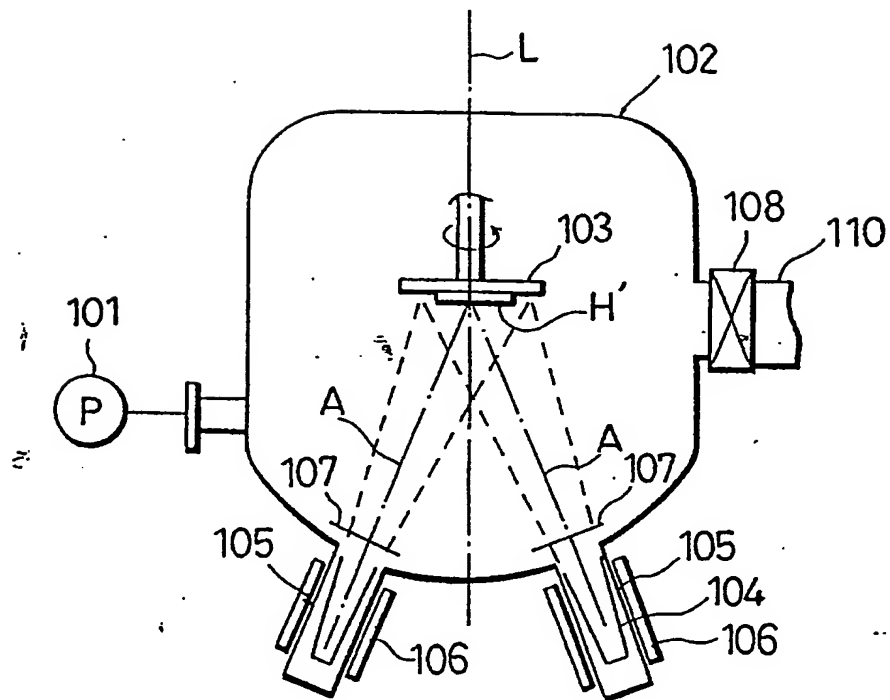


Fig. 15  
Prior Art

